DIE NATURWISSENSCHAFTEN

39. Jahrgang | Heft 18 (Zweites Septemberheft) | 1952

Aus der Kindheit der drahtlosen Telegraphie*).

Von J. Zenneck, München.

Eine gewisse Entschuldigung für mein paläontologisches Thema ist wohl die Tatsache, daß die Anfänge der Hochfrequenzkunst und ihre Anwendung in der drahtlosen Telegraphie ein gewisses Interesse beanspruchen dürfen und daß die Zahl derer, die diese Anfänge praktisch mitgemacht haben, recht klein geworden ist.

Das folgende macht durchaus nicht den Anspruch, eine „Geschichte" dieser Anfänge zu sein. Es sind persönliche *Erinnerungen* an die *romantische* Zeit der drahtlosen Telegraphie, in der man für Sender und Empfänger aus der Physik alles mögliche heranholte und für die Zwecke der neuen Technik ausprobierte. Die klassische Zeit, in der die *Röhre* von de Forest im Sender und Empfänger alles beherrschte und vereinfachte, soll nur gestreift, die Neuzeit der *Ultrakurzwellen*, in der man in der Kürze der Wellen noch weit unter diejenigen von Hertz herunterging, kaum berührt werden.

I. Allgemeines.

Eröffnet wurde die drahtlose Telegraphie durch Marconi, nicht früher, nicht durch Hertz oder durch Popoff. Seit Marconi haben wir tatsächlich eine drahtlose Telegraphie. Er ist also als der Erfinder zu betrachten, der die von Hertz zuerst hergestellten elektromagnetischen Wellen als Nachrichtenmittel ausbildete.

Seine ursprüngliche Senderanordnung war bekanntlich diejenige von Fig. 1 (1896), der sehr bald (1898) diejenige von Ferdinand Braun (Fig. 2) folgte.

Die Entwicklung in den ersten Jahren war erheblich erschwert durch einen *persönlichen* Mißstand, dadurch, daß diejenigen, die schon vorher sich mit den elektrischen Wellen beschäftigt hatten und deshalb davon etwas verstanden, wenigstens in unserem Lande sich nicht der drahtlosen Telegraphie zuwandten. Hertz selbst stand dem Gedanken einer praktischen Anwendung seiner Wellen durchaus fern, auch dann noch, als ihm ein Münchner Ingenieur Heinrich Huber in einem Brief vom 1. Dezember 1889 diesen Gedanken nahegelegt hatte. Vermutlich war Hertz sich darüber klar, daß bei dem damaligen Stand der Wellenindikatoren keine Aussicht für eine praktisch brauchbare Ausführung bestand, ganz abgesehen davon, daß die von H. Huber angegebene Schaltung unbrauchbar gewesen wäre.

Umgekehrt hatten diejenigen, die sich mit drahtloser Telegraphie versuchten, sich vorher nicht mit elektromagnetischen Schwingungen beschäftigt und verstanden deshalb davon nur sehr wenig oder, freundlicher ausgedrückt, mußten sich erst einarbeiten. Das galt für Braun, Slaby, Arco und auch für Marconi, der auf dem Gebiet so ziemlich Autodidakt war. Ich hatte auf dem Hochfrequenzgebiet kaum gearbeitet und bin zur drahtlosen Telegraphie eigentlich nur durch ein Mißverständnis gekommen. Der Braunsche Sender sollte in und auf der Nordsee bei Cuxhaven ausprobiert werden. Die Versuche wurden dem 1. Assistenten von Braun, Dr. Mathias Cantor, später Professor für theoretische Physik an der Universität Würzburg, übertragen. Als Versuchsschiff diente der reichlich ranke Seebäderdampfer „Silvana". Als dieser im Herbst 1899 recht häufig zu mechanischen Schwingungen neigte, berief sich Cantor darauf, daß er nur für *elektromagnetische* Schwingungen verpflichtet sei, und streikte. Man sah, daß für praktische drahtlose Telegraphie nicht nur Wissenschaft, sondern auch Seefestigkeit nötig war. Sie wurde bei mir vermutet, da ich bei der Marine, in Wirklichkeit beim 1. See-Bataillon in Kiel, gedient hatte. Tatsächlich war ich während meiner Dienstzeit nie an Bord kommandiert gewesen. Außerdem bedeutet die Zugehörigkeit selbst zur Matrosendivision noch lange nicht Seefestigkeit. Aber das Ergebnis der beiden falschen Schlüsse war richtig: Ich bin nach der ersten Fahrt, von deren Einzelheiten ich nicht gerne sprechen möchte, absolut seefest gewesen.

Fig. 1a—c. Ursprüngliche Sender von Marconi. a Platte und Funkenstrecke; b Platte und Righi-Oszillator; c Draht und Funkenstrecke. *J* zum Funken-Induktor; *F* Funkenstrecke.

Fig. 2. Gekoppelter Sender von F. Braun. Links Kondensatorkreis; *A* Antenne; C_1 Kondensator; L_1 und L_2 Selbstinduktionen.

Die zweite Schwierigkeit in den ersten Jahren war eine *sachliche: Der Mangel an Hochfrequenz-Meßinstrumenten.* Gemessen hat man meist mit einer regelbaren Funkenstrecke, parallel zu 2 Punkten des Senders oder zwischen einem Punkt und Erde. Was die gemessene Schlagweite z.B. bei einem Braunschen Sender bedeutete, war schwer zu sagen. Immerhin konnte man aus einer Erhöhung der Schlagweite durch irgendeine Maßnahme „unter sonst gleichen Umständen", wie man etwas undefiniert zu sagen pflegte, auf eine Erhöhung der Intensität der Schwingungen schließen.

Man wundert sich, daß man den Effektivwert des Stromes in den Hochfrequenzkreisen nicht von Anfang an einfach mit einem technischen *Hitzdrahtinstrument* gemessen hat. Ein grundsätzliches Bedenken dagegen war, daß der Effektivstrom, den das Instrument anzeigte, keineswegs nur von der Anfangsamplitude abhing, sondern auch noch von der sekundlichen Funken-(Entladungs)-Zahl und von der Dämpfung und deren

*) Vortrag bei der Tagung des Verbands Deutscher Physikalischer Gesellschaften vom 19. bis 23. September 1951 in Karlsruhe.

zeitlichem Verlauf. Experimentell sprach gegen die Verwendung von technischen Hitzdrahtinstrumenten, daß diese neben dem notwendigerweise dünnen Hitzdraht noch einen Nebenschluß hatten, der bei verschiedenen Frequenzen verschieden wirkte. Die Abhilfe lag nahe. Man baute Hitzdrahtstrommesser ohne Nebenschluß, die lange Zeit die wichtigsten Meßinstrumente waren, meist trotz einer besonderen Schutzvorrichtung durchbrannten und merkwürdigerweise den unpassenden Namen „Wattmeter" erhielten.

Mit der Namengebung hat man in der drahtlosen Telegraphie überhaupt kein Glück gehabt. Es fehlte entschieden ein *Hochfrequenz-Philologe*. Als man einen *Frequenzmesser* hatte, wurde er Wellenmesser getauft,

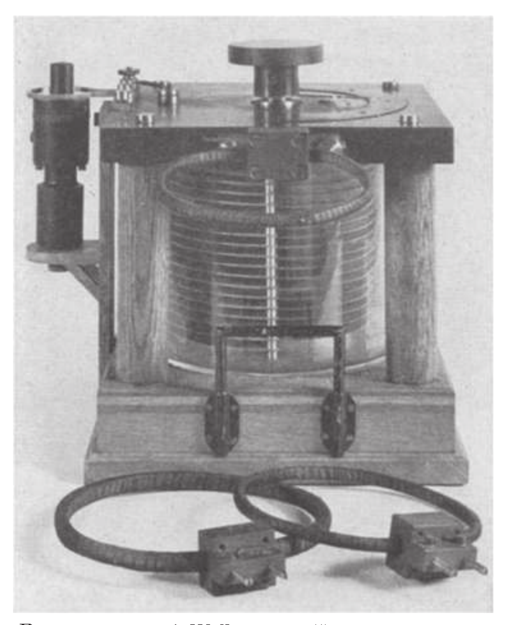


Fig. 3. Frequenzmesser („Wellenmesser") von FRANKE-DÖNITZ.

nicht etwa Wellenlängenmesser, was verständlich gewesen wäre. Der Name *Funkentelegraphie* wurde ungefähr zu der Zeit eingeführt, als man den Funken glücklich losbekommen hatte.

Solange man keinen *Frequenzmesser* hatte, wußte man nie, was für Schwingungen in den Schwingungskreisen waren. Es war nach den damals schon bekannten Resonanzversuchen von O. LODGE beinahe selbstverständlich, einen Resonanzfrequenzmesser zu bauen, dessen Resonanzkreis eine regelbare und für jede Stellung berechenbare Frequenz besaß. Derjenige, den ich einführte, hatte feste, wenn auch auswechselbare Kondensatoren und eine veränderliche Induktivität. Viel bequemer war der daraus abgeleitete Frequenzmesser von FRANKE-DÖNITZ (Fig. 3) mit festen, aber auswechselbaren Spulen und dem sehr bequemen, übrigens für andere Zwecke schon bekannten Drehkondensator, den KÖPSEL in die drahtlose Telegraphie eingeführt hat. Es war von da an das unentbehrliche Handwerkzeug der Hochfrequenztechnik.

Mit einem solchen Frequenzmesser konnte man auch die *Dämpfung* von Schwingungskreisen nach der Methode, die V. BJERKNES als Assistent von HERTZ ausgearbeitet hatte, messen. Man hatte dabei allerdings kein ganz gutes Gewissen. Die Methode setzt einen Kreis mit *exponentiellem* Abfall der Amplitude voraus. Von Kreisen mit Funkenstrecken hatte sich aber gezeigt, daß ihre Amplitude nicht exponentiell sondern ganz oder nahezu *geradlinig* abfällt. Man half sich nach einer auch sonst beliebten Verlegenheitsmethode, daß man auf die Resonanzkurve trotzdem die BJERKNES-Beziehung anwendete und die so abgeleitete Dämpfung als „wirksame" oder „äquivalente Dämpfung" bezeichnete.

Die BRAUN*sche Röhre* in ihrer einfachsten Form war (1897) gerade erfunden, spielte aber damals noch lange nicht die Rolle wie später. Für die damals verwendeten Frequenzen war die Lichtstärke und die zeitproportionale Ablenkung nicht ausreichend. Immerhin wurde die Tatsache, daß bei Kondensatorenkreisen mit Funkenstrecke die Amplitude unter den Verhältnissen der drahtlosen Telegraphie ungefähr linear abfällt, mit Hilfe der BRAUNschen Röhre festgestellt.

II. Sender.

A. Sender für gedämpfte Schwingungen.

Die ersten Sender lieferten alle gedämpfte Schwingungen. Ihre einfachste und gleichzeitig älteste Form war diejenige des ursprünglichen MARCONI-Senders (Fig. 1a u. c).

In der Zeit, in der man noch keine Frequenzmesser hatte, hat es ziemlich lange gedauert, bis man sich darüber klar war, daß die Antenne zusammen mit dem Boden darunter ein *schwingungsfähiges System* bildet.

Weit verbreitet war jedenfalls anfänglich die Auffassung, daß in der Funkenstrecke Schwingungen sehr kurzer Wellenlänge, z. B. in der Größenordnung von Zentimetern entstehen, der Antenne entlang nach oben wandern und dabei in den Raum ausgestrahlt werden. Es war nur konsequent, wenn MARCONI, wohl unter dem Einfluß von Prof. RIGHI in Bologna, versuchte, die gewöhnliche Funkenstrecke durch einen sog. RIGHI-Sender (Fig. 1b) zu ersetzen, ohne aber dadurch irgendwelche Vorteile zu erzielen. Diese Auffassung zeigt sich auch indirekt in der Patentanmeldung von BRAUN, der als Kennzeichen *seiner* Anordnung angibt, sie arbeite im Gegensatz zu den kurzen Wellen von MARCONI mit langen Wellen.

Man kann dem ursprünglichen MARCONI-Sender manche Nachteile vorwerfen, nur darf man dabei nie vergessen, daß er *die Anordnung ist, die zum ersten Mal eine drahtlose Telegraphie verwirklicht hat.*

BRAUNscher Sender.

Wie eben erwähnt, wollte BRAUN bewußt mit verhältnismäßig langen Wellen arbeiten, wie sie sich nach den Versuchen von FEDDERSEN durch Kondensatorkreise leicht herstellen lassen. Das wichtigste bei seiner Anordnung (Fig. 2) war, daß er die 2 Funktionen, Erzeugung der Schwingung (Energiezufuhr) und Ausstrahlung der Wellen, auf die beiden Kreise verteilte. Was man damit erreichte, war in erster Linie *höhere Energie*. Die Kapazität des Kondensatorkreises konnte sehr viel größer gemacht werden, als es damals bei den einfachen Drahtantennen der Fall war. Entsprechend größer wurde damit auch die bei einer bestimmten Spannung zugeführte Energie, wobei diese Spannung bei der MARCONI-Antenne durch ihre Isolation — eine auf einem regentriefenden Schiff nicht einfache Aufgabe — begrenzt war.

Was man ferner hoffte, war geringe *Dämpfung*. Man ging dabei meist von einer Erwägung aus, die

nur bei extrem loser Koppelung zwischen Kondensatorkreis und Antenne zutraf, nämlich der, daß die Schwingungen in Kondensatorkreisen wegen des Fehlens der Strahlung trotz der Verluste in der Funkenstrecke verhältnismäßig geringe Dämpfung besitzen und mit dieser schwachen Dämpfung auf die Antenne übertragen werden. Tatsächlich handelt es sich dabei um ein gekoppeltes System mit einer keineswegs extrem losen Koppelung. In einem solchen System sind bekanntlich sowohl im Primär- als im Sekundärkreis 2 Koppelungsschwingungen vorhanden (Fig. 4), deren Dämpfung durch die Eigenschaften des Primär- *und des Sekundärkreises* bestimmt ist. Ihr Vorhandensein führt bei der Wirkung auf den Empfänger zu einer breiteren Resonanzkurve und damit zu einer geringeren Resonanzschärfe, als durch die Dämpfungen allein hervorgerufen würde.

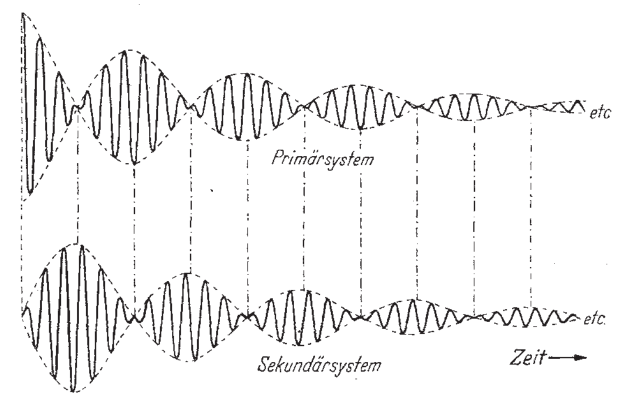


Fig. 4. Schwingungsverlauf beim BRAUNschen gekoppelten Sender.

Der WIENsche Löschfunkensender.

Auf der Naturforscherversammlung in Stuttgart (1906) hatte MAX WIEN gezeigt, daß ein gekoppeltes System nach Art des BRAUNschen Senders (d. h. Primärkreis mit, Sekundärkreis ohne Funkenstrecke) bei mäßig langer Funkenstrecke die normalen Koppelungsschwingungen, bei *sehr* kurzer praktisch nur die Eigenschwingungen des Antennenkreises liefert. Er führte es darauf zurück, daß der „Widerstand" der sehr kurzen Funkenstrecke so groß und deshalb der Primärkreis so stark gedämpft sei, daß seine Amplitude rasch abfalle und schon nach wenigen Perioden das Sekundärsystem mit seiner Eigenschwingung von geringer Dämpfung allein weiterschwinge. Es entspricht dieser Auffassung, wenn WIEN die Dämpfung des Primärkreises durch Einschalten von Widerstand oder Gasentladungsstrecken („Löschröhren") erhöhte. Das bedeutete aber auch eine Schädigung der Energieübertragung an das Sekundärsystem.

Unsere Versuche zeigten, daß diese Auffassung nicht zu halten und zu ersetzen sei durch die folgende: Nach dem Einsetzen des Funkens entstehen zuerst im Primär- und Sekundärkreis die beiden Koppelungsschwingungen mit verschiedener Frequenz und demnach Schwebungen. Sind diese Schwebungen „rein", d. h. ist die Amplitude der resultierenden Schwingungen des Primärkreises in einem Schwebungsminimum gleich Null, so reißt bei geeigneter Funkenstrecke der Primärstrom ab, d. h., zündet nach dem Schwebungsminimum nicht wieder; im Sekundärkreis ist in demselben Moment die Energie der Schwingungen ein *Maximum*, und er schwingt mit der ihm eigenen geringen Dämpfung allein weiter (Fig. 5). Man erhält also nur während weniger Perioden Koppelungsschwingungen und damit Funkenverluste im Primärkreis; im übrigen aber scheidet der Primärkreis schon nach wenigen Perioden aus im Gegensatz zum BRAUNschen Sender, in dem der Primärkreis ungefähr ebenso lange schwingt wie der sekundäre.

Diese Auffassung fand allgemeine Anerkennung. Ich schließe das aus der Tatsache, daß in den verschiedensten Veröffentlichungen meine Abbildungen mit solcher Sorgfalt reproduziert wurden, daß in Fig. 4 die Nullinie (Zeitachse) fehlte: sie war in meiner Veröffentlichung einfach vergessen worden.

Die angegebene Auffassung hatte aber auch eine erhebliche praktische Folge. Für die Herstellung „reiner" Schwebungen ist der Koppelungsgrad zwischen

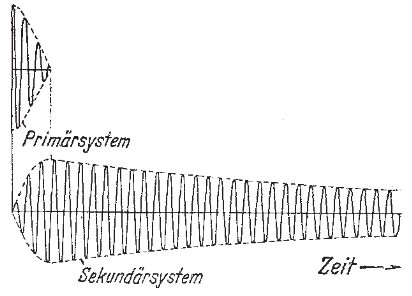


Fig. 5. Schwingungsverlauf beim WIENschen Löschfunkensender.

Primär- und Sekundärsystem durchaus kritisch. Infolge davon mußte der Löschfunkensender nicht nur mit Abstimmitteln, sondern auch mit einer veränderlichen Koppelung ausgerüstet sein, die beim BRAUNschen Sender, wo die Koppelung nicht kritisch ist, fehlte.

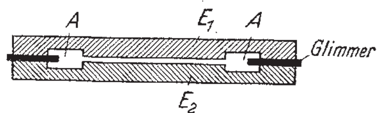


Fig. 6. Löschfunkenstrecke.

Telefunken hat die Methode, bei der alles auf die richtige Funkenstrecke ankommt, in vorzüglicher Weise ausgebildet durch Einführung einer Serienfunkenstrecke, deren kreisförmige einzelne Elemente im Schnitt die Form von Fig. 6 haben. Sie hat den Zweck, die Entionisierung möglichst zu unterstützen. Die Kühlrippen (kreisförmige Kupferplatten von größerem Durchmesser zwischen je zwei Elementen) verhindern, daß die Platten überhitzt werden und gegebenenfalls Elektronen emittieren. Der geringe Abstand zwischen den Platten sorgt für eine große Feldstärke zwischen ihnen und demnach für erhebliche Kräfte auf die Ionen und für kurze Wege zur Ausscheidung an den Elektroden und der Wasserstoff, den man zwischen den Platten durchleitet, für möglichst große Ionenbeweglichkeit.

Der Wirkungsgrad des Löschfunkensenders ist viel höher als der des BRAUNschen. Dazu kommt noch ein weiterer Vorteil, der auf einen Gedanken von R. A. FESSENDEN zurückgeht. Die WIENsche Löschfunkenanordnung gestattet die Verwendung sehr hoher Funkenzahlen, z. B. 500/sec; im Empfängertelephon entsteht dann ein hörbarer Ton, z. B. von der Funkenfrequenz 500/sec. Er kann vom Funker, insbesondere bei atmosphärischen Störungen viel besser gehört werden als das Knacken, das man im Empfängertelephon hört, wenn man im Sender gewöhnliche Funkenstrecken mit geringer Funkenzahl verwendet. Man

hatte solchen Sendern den despektierlichen Namen „Knallfunkensender" gegeben. Bei diesen Funkenstrecken eine hohe Funkenzahl zu verwenden, war nicht möglich. Es entsteht bei ihnen sonst eine Art Lichtbogen, der eine Aufladung der Kondensatoren auf hohe Spannung nicht mehr zuläßt.

Der Löschfunkensender hoher Funkenzahl — man sprach von „tönenden Funken" oder allgemein „Tonsendern" — ist heute schon beinahe vergessen. Er hatte aber ein sprunghaftes Ansteigen der Stationenzahl zur Folge, und noch am Anfang des ersten Weltkrieges 1914 war der Sender in Sayville (Long Island), der Gegenstation von Nauen, der den Verkehr mit Deutschland vermittelte, ein Löschfunkensender. Wegen seiner Robustheit und da er von jeder Art von Empfängern aufgenommen werden konnte, war er noch lange, nachdem man schon Röhrensender hatte, für Hilfssender auf Rettungsbooten gesetzlich vorgeschrieben. *Er stellt zweifellos die höchste Stufe eines Senders für gedämpfte Wellen dar.*

B. Zwischen „gedämpft" und „ungedämpft".

Von den verschiedensten Seiten, z.B. Marconi (Synchronous rotary gap), ist versucht worden, kontinuierliche Schwingungen dadurch herzustellen, daß man den Schwingungskreis nach einer Anzahl von Perioden, während deren die Schwingungen mit ihrer Eigendämpfung abfallen, in richtiger Phase wieder anstößt. Eine Anordnung dieser Art ist die der Firma C. Lorenz AG., die längere Zeit in Gebrauch war. Sie war besonders interessant deshalb, weil sie schon ohne Funkenstrecke arbeitete und gleichzeitig einen Frequenzwandler bildete.

An die Hochfrequenzmaschine M (Fig. 7A) ist ein auf ihre Frequenz abgestimmter Kondensatorkreis angeschlossen, der außer einer großen eisenfreien Induktivität L einen Transformator Le mit Eisenkern enthält. An den Sekundärklemmen desselben liegt im einfachsten Fall der Antennenkreis, der auf ein ungerades Vielfaches der Maschinenfrequenz abgestimmt ist. Die Spannung am Transformator ist ungefähr von der Form der Kurve a in Fig. 7B, der Antennenstrom von der Form der Kurve b. Die Schwingungen der Antenne werden in jeder Periode der Maschine zweimal in richtiger Phase angestoßen und fallen sehr langsam ab. Das Verfahren verzichtet also auf Schwingungen von konstanter Amplitude, aber nähert sich diesem Falle in praktisch ausreichender Weise.

C. Ungedämpfte Schwingungen.

1. Hochfrequenzmaschinen.

Schon im Jahre 1881 hatte Nicola Tesla Hochfrequenzmaschinen bis zu einer Frequenz von 15000/sec von allen möglichen Typen entwickelt, besonders solche von der Gleichpoltype mit einer Art Zickzackwicklung des Ankers, die man auch heute als „Tesla-Wicklung" bezeichnet (Fig. 8). Diese Maschinen sind das Vorbild für alle späteren Hochfrequenzmaschinen geworden.

Man war sich klar darüber, daß es für die drahtlose Telegraphie viel günstiger und für drahtlose Telephonie eine Lebensfrage sein würde, statt der gedämpften Schwingungen der Funkensender ungedämpfte, wie sie z.B. Maschinen lieferten, anzuwenden. Wenn man trotzdem lange Zeit keine ernsthaften Bemühungen machte, Maschinen und deren ungedämpfte Ströme in die drahtlose Telegraphie einzuführen, so war der Grund einfach der, daß man glaubte, dafür *sehr* hohe Frequenzen, d.h. kurze Wellenlängen, nötig zu haben. Die Wellenlängen, mit denen man damals arbeitete, waren von der Größenordnung einiger hundert Meter, die Frequenzen also um 1000000/sec herum. Man verzweifelte daran, solche Frequenzen jemals mit Maschinen erzeugen zu können. Wenn also R. A. Fessenden schon im Jahre 1902 ein ziemlich allgemeines Patent auf die Verwendung von ungedämpften Schwingungen für drahtlose Telegraphie einreichte, so war es nicht viel mehr als der Versuch, einen frommen Wunsch patentieren zu lassen.

Aber Fessenden hat schon in dieser Patentschrift davon gesprochen, daß er ungedämpfte Wellen *von großer Wellenlänge* verwenden wolle. Er hat auch nach einem Konstrukteur gesucht, der imstande sein sollte, eine brauchbare Hochfrequenzmaschine zu bauen. Er fand ihn in E. F. W. Alexanderson bei der General Electric Co., der unter Verwendung von Konstruktionsgedanken Teslas, insbesondere der sog. Tesla-Wicklung, nach mannigfachen Versuchen ein elektrotechnisches Kunstwerk geschaffen hat: einen Generator, der eine Frequenz von 50000/sec unmittelbar in die Antenne lieferte und tatsächlich lange Zeit im Gebrauch war (Fig. 9). Die technischen Schwierigkeiten für so hohe Frequenzen sind ungeheure. Sehr hohe Frequenzen sind nur durch extrem hohe Drehzahlen und äußerst feine Einteilung des Rotors und Stators und ein brauchbarer Wirkungsgrad nur durch ungeheuer geringen Abstand zwischen Rotor und Stator zu erreichen (Fig. 10). Es hat meines Wissens

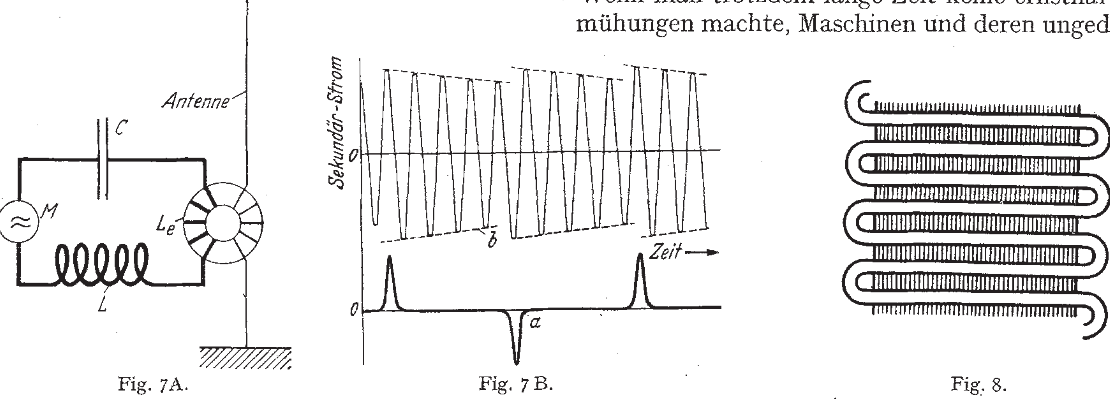


Fig. 7A. Fig. 7B. Fig. 8.

Fig. 7A u. B. Anordnung von C. Lorenz zur Erzeugung kontinuierlicher Schwingungen ohne Funkenstrecke. A Schaltschema (s. Text); B zeitlicher Verlauf der Transformatorspannung und des Antennenstroms.

Fig. 8. Schema einer Tesla-Wicklung.

seitdem niemand gewagt, ALEXANDERSON die Weltmeisterschaft auf dem Gebiet der Hochfrequenzmaschinen streitig zu machen.

Inzwischen war aber auch ein anderer Gedanke aufgekommen, der schon 1899 von mir angegeben und experimentell ausgeführt war, der Gedanke der *Frequenzwandler (Frequenz-Vervielfachung)*: Mit der Maschine unmittelbar wird eine geringere Frequenz erzeugt, sie wird aber nachher durch ruhende Frequenzwandler vervielfacht. Zur Ausführung dieses Gedankens hatte ich elektrische Gleichrichter verwendet. Später wurde derselbe Zweck von den verschiedensten Seiten

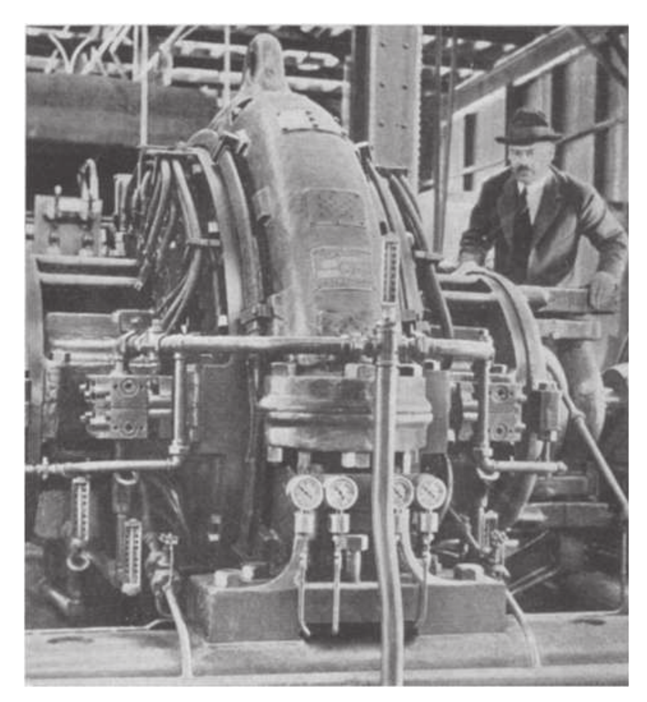


Fig. 9. Hochfrequenzmaschine von E. F. W. ALEXANDERSON für die Frequenz 50000/sec und 200 kW.

(EPSTEIN, JOLLY, G. VALLAURI) durch Ausnützung der magnetischen Eigenschaften von Eisen in günstigerer Weise erreicht.

Auf diesem Gedanken beruhte die Hochfrequenzmaschinenanlage, die 1911 in Nauen und Anfang 1915 in der Gegenstation Sayville (Long Island) von Telefunken aufgestellt wurde und während eines großen Teils des Weltkrieges dort gearbeitet hat. Die von der AEG gebaute Maschine — sie ging unter dem Namen Graf ARCO-Maschine — gab unmittelbar nur eine Frequenz von 8000, ein zweistufiger Frequenzwandler brachte sie auf die Frequenz von 32000 ($\lambda = 9400$ m), die der Antenne zugeführt wurde.

Was man bei einer solchen Hochfrequenzmaschinenanlage erleben konnte, mögen 2 Beispiele zeigen:

Weder ich noch die normalen Angehörigen der Station Sayville hatten Erfahrung mit dem Betrieb einer solchen Anlage. Wir waren deshalb wie aus den Wolken gefallen, als wir die Anlage in Betrieb nahmen und der Antennenstrom, der bei einer Maschinenspannung von z. B. 1150 V ungefähr 15 Amp betragen hatte, auf ungefähr 120 Amp hinauf schnellte, wenn wir die Maschinenspannung nur ein wenig, z. B. auf 1175 V, steigerten. Der Grund war der, daß auch solche Anordnungen mit Frequenzwandlern eine Erscheinung zeigen, die man schon bei einfachen Kondensatorkreisen mit Eisenkernspulen beobachtet und meist mit „Kipperscheinungen" bezeichnet. Ihre Ursache ist ein fallender und deshalb instabiler Teil PQ der Stromspannungscharakteristik der Anlage (Fig. 11).

Auch mit einer anderen Schwierigkeit mußten wir fertig werden. Unsere Station war an eine kleine Drehstromzentrale auf Long Island angeschlossen. Die starken Schwankungen ihrer Niederfrequenz, infolge davon auch der Drehzahl des Drehstrommotors, der unsere Hochfrequenzmaschine trieb, übertrugen sich auch auf unsere Hochspannung nicht zur Freude der Funker auf der Empfangsstation in Nauen. Wir halfen uns folgendermaßen: Die Leistungsabgabe des

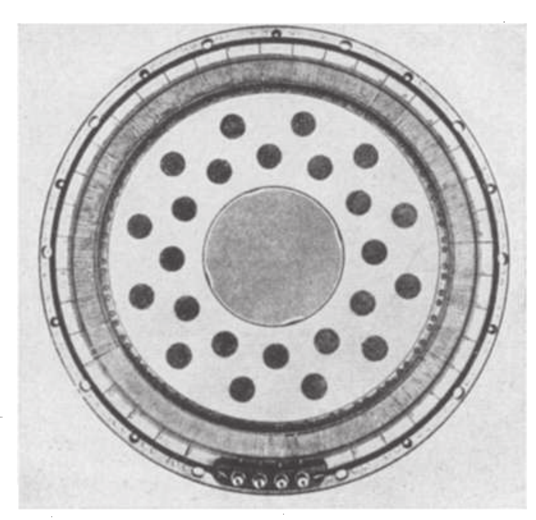


Fig. 10. Rotor einer Hochfrequenzmaschine.

Motors an den Hochfrequenzteil der Anlage in ihrer Abhängigkeit von der Drehzahl des Motors und damit auch von der Hochfrequenz war naturgemäß durch eine Kurve von der Art von Fig. 12 gegeben.

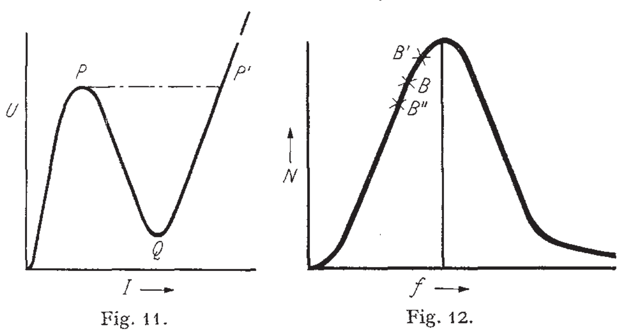


Fig. 11. Fig. 12.

Fig. 11. Stromspannungscharakteristik eines Frequenzwandlers mit Eisenkernspulen.

Fig. 12. Leistungscharakteristik einer Hochfrequenzmaschinenanlage. N Leistung; f Frequenz.

Die 3 Phasen des Rotors im Drehstrommotor enthielten in üblicher Weise je einen Widerstand, der nur beim Anlassen verwendet wurde, bei normalem Betrieb ausgeschaltet war. Von diesem Widerstand wurde ein geringer Teil eingeschaltet und dadurch die Drehzahl des Motors sehr leistungsabhängig gemacht. Arbeitet man nun nicht im Resonanzpunkt, sondern auf einem Punkt B des aufsteigenden Teils der Kurve und geht die Drehzahl des Motors in die Höhe (Punkt B'), so hat er mehr Leistung abzugeben, was automatisch die Drehzahl herabdrückt. Besteht die Schwankung der Drehzahl in einer Erniedrigung (Punkt B''), so nimmt die Leistung ab, und die Drehzahl steigt.

Natürlich kostet diese Regulierung etwas vom Wirkungsgrad, aber sie wirkte so gut, daß wir schon am ersten Tag, an dem die Anordnung im Gange war, von Nauen eine drahtlose Anfrage bekamen, was wir eigentlich gemacht hätten, um diese erstaunliche „Frequenzkonstanz" zu kriegen.

2. Lichtbogensender.

Niemand, der die Verhältnisse kennt, wird sein Erstaunen darüber unterdrücken können, warum man nicht statt der schwierigen Entwicklung der Hochfrequenzmaschinen den viel einfacheren Weg zur Herstellung ungedämpfter Schwingungen eingeschlagen hat, der zur Zeit der Anfänge der drahtlosen Telegraphie auch

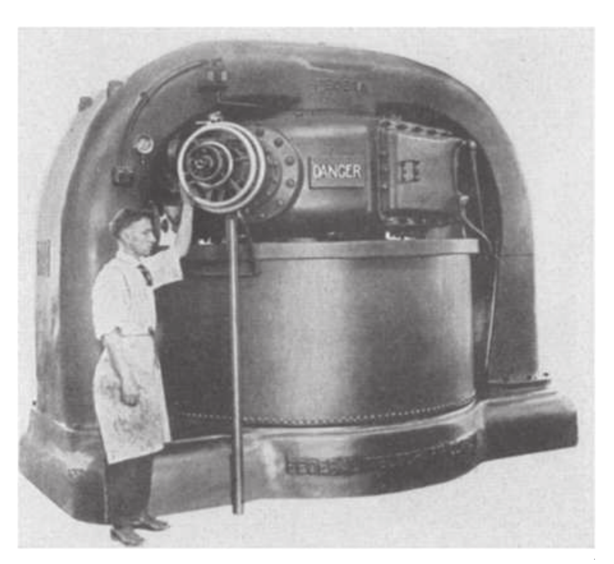


Fig. 13. Lichtbogen-(Poulsen-)Generator der Federal Telegraph Co. für 100 kW.

bekannt war (El. Thomson, W. Duddell), nämlich den, ungedämpfte Schwingungen dadurch zu erzeugen, daß man in einem Kondensatorkreis die Funkenstrecke durch einen Lichtbogen ersetzt. Tatsächlich ist von den verschiedensten Seiten versucht worden, diese Erscheinung auch für Hochfrequenz zu verwenden. Überraschenderweise fand man aber, daß der „Lichtbogengenerator" nicht mehr arbeitete, sobald man ihm hohe Frequenzen zumutete und womöglich auch hohe Leistung von ihm verlangte. Alle die zahlreichen Bemühungen waren erfolglos, bis V. Poulsen (1904) die Mittel fand, um den Lichtbogen in den Dienst der Hochfrequenz zu zwingen. Sie bestanden darin, daß man 1. unsymmetrische Elektroden, die negative aus einem Stoff mit starker, die positive aus einem mit möglichst geringer Elektronenemission, in der Regel die negative Elektrode aus Kohle, die positive aus gut gekühltem Kupfer herstellte, 2. den Lichtbogen in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre brennen ließ — das ist notwendig zur Erzeugung hoher Frequenz —, 3. auf ihn ein Magnetfeld wirken ließ — das ist nötig für hohe Leistung.

Der „Lichtbogen-" oder „Poulsen-Generator", der mit einem Wirkungsgrad von ungefähr 50% unmittelbar Gleichstrom- in Hochfrequenzenergie verwandelt, ist eine der schönsten und einfachsten Anordnungen, die die Entwicklung der Hochfrequenztechnik gebracht hat. Er ist in Amerika von der Federal Telegraph Co. bis zu Einheiten von 1000 kW gebaut worden (Fig. 13) und beherrschte über ein Jahrzehnt lang in Amerika vollkommen das Senderfeld. Es hat mir ordentlich leid getan, daß dieser Sender den allmählich sich steigernden Anforderungen des Empfangs nicht mehr genügte, da er es mit der Konstanz von Frequenz und Amplitude und der Reinheit von Oberschwingungen nicht allzu genau nimmt.

III. Empfänger.

A. Schaltungen.

1. Gedämpfte Schwingungen.

Ein damaliger Funkerspruch — nicht Funkspruch — war: „Der Sender allein macht nicht glücklich, man muß ihn auch empfangen." So wende ich mich zum Empfänger und zwar zuerst für *gedämpfte* Schwingungen.

Die erste Empfängeranordnung von Marconi (Fig. 14) war genau das Gegenstück seines Senders

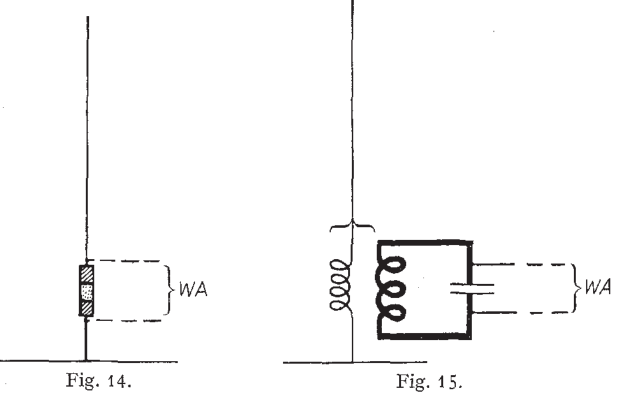


Fig. 14. Schematische Anordnung eines einfachen Empfängers mit Kohärer. *WA* zum Wellenanzeiger.

Fig. 15. Schema eines gekoppelten Empfängers. *WA* zum Wellenanzeiger.

(Fig. 1). Als Wellenanzeiger diente dabei ein in die Antenne eingeschalteter Kohärer (vgl. S. 415). Die Wirkungsweise, die man dieser Anordnung zuschrieb, entsprach genau der S. 410 erwähnten Ansicht über die Wirkung des Senders, nach der die Welle in der Funkenstrecke erzeugt werde, dann in der Antenne hochwandere und dabei in den Raum ausgestrahlt werden solle. Beim Empfänger nahm man an, daß die ankommenden Wellen an der Antenne herunterwandern, den Kohärer treffen und ihn leitend machen.

Auch beim Empfänger hat sich bald das Bedürfnis nach *Abstimmitteln* herausgestellt, und man ging auch hier zum gekoppelten System (Fig. 15) über.

In dem englischen Patent, das unter dem Namen „4 × 7-Patent" ging (seine englische Nummer war 7777), beanspruchte Marconi die Abstimmung des Primär- und Sekundärsystems im Sender, dasselbe im Empfänger und außerdem noch Abstimmung zwischen Sender und Empfänger.

Die späteren Empfänger besitzen in der Regel die in Fig. 15 gezeigten Elemente, außerdem aber noch die verschiedensten zum Betrieb des Wellenanzeigers nötigen Hilfsgeräte. Das Ergebnis war, daß man bei jedem Wellenzug des Senders im Wellenanzeiger einen Stromstoß erhielt und im eingeschalteten Telephon einen Ton von der Funkenfrequenz des Senders, falls diese im hörbaren Gebiet lag.

2. Ungedämpfte Schwingungen.

Für den Empfang ungedämpfter Schwingungen würde diese Anordnung nicht ausreichen. Man würde

beim Tasten von Punkten und Strichen und dem dadurch hervorgerufenen Ein- und Aussetzen der Schwingungen nur je ein Knacken im Telephon, aber keinen Ton hören. Man kann ihn z.B. herstellen, wenn man in die Leitung des Wellenanzeigers einen Unterbrecher, z.B. einen sog. „Tikker", einschaltet, dessen Schwingungsfrequenz dann als, wenn auch unreiner, Ton hörbar wird.

Als bei weitem beste Anordnung für den Empfang ungedämpfter Wellen hat sich die *„Heterodyne"*-Methode von FESSENDEN herausgestellt. In der Empfangsstation befindet sich ein lokaler ungedämpfter Hilfsgenerator, dessen Frequenz nur wenig, z.B. um den Betrag δ, von der Frequenz der ankommenden Wellen verschieden ist. In der ursprünglichen Anordnung von FESSENDEN, die heute fast vollkommen vergessen ist, wurde ein Telephon verwendet mit einer festen Platte und einer Membran, auf beiden je eine flache Spule von sehr dünnem Draht. Durch die eine wurde der Empfangsstrom, durch die andere ein Strom des lokalen Generators durchgeleitet. Man bekommt dann, wie man leicht einsieht, eine Kraftkomponente auf die Membran, deren Frequenz gleich der Differenz δ zwischen den Frequenzen der beiden Schwingungen ist. Der Funker kann die Tonhöhe durch Änderung der Frequenz des lokalen Generators sehr einfach so einstellen, daß er am besten z.B. durch atmosphärische Störungen durchhört. Es ist selbstverständlich, daß diese schon 1905 zum Patent angemeldete Methode erst praktisch wurde, als man durch den Röhrengenerator eine bequeme lokale Hochfrequenzquelle erhalten und das Spezial-Telephon durch die Methode von LEE und HOGAN ersetzt hatte, bei der die beiden Schwingungen in einem Stromkreis mit Detektor vereinigt werden.

B. Wellenanzeiger (Detektoren).

Es gibt kaum eine Erscheinung, die man nicht aus dem Instrumentarium der Physik herangeholt hätte, um sie zum Nachweis der Wellen des Senders zu verwenden.

Sofort zeigte sich, daß die Verfahren, die man bisher zum Nachweis elektromagnetischer Wellen und ihrer Messung im Laboratorium benützt hatte (z.B. Bolometer, Thermokreuz usw.) viel zu unempfindlich waren.

Die erste brauchbare und auch von MARCONI benützte Lösung war eine, man kann wohl sagen, ganz unwahrscheinliche Anordnung, der *Kohärer* (Fritter), den E. BRANLY schon 1890 erfunden hatte (Fig. 16). Er bestand bekanntlich aus einer Röhre, die mit kleinen Metallteilchen gefüllt war und in die von beiden Seiten Metall-Elektroden hereinragten. In ungestörtem Zustand hat er einen nahezu unendlich großen Widerstand, der beim Anlegen einer genügend hohen Spannung, z.B. Hochfrequenzspannung, auf einen geringen von der Größenordnung einiger Ohm zurückging. Sollte der Kohärer seinen ursprünglichen Widerstand wieder bekommen und damit zur Aufnahme des nächsten Hochfrequenzzeichens bereit sein, so mußte gegen ihn geklopft werden, was von Anfang an durch eine automatische Anordnung geschah, wie sie schon POPOFF in einer Antenne von der Art der Fig. 14 zum Nachweis elektrischer atmosphärischer Störungen angewandt hatte.

Natürlich wurde durch jedes Klopfen die gegenseitige Lagerung der Metallteilchen geändert. Man brauchte sich deshalb nicht zu verwundern, wenn auch die Kohärer Unregelmäßigkeiten zeigten, die man etwas anthropomorphistisch als „Launenhaftigkeit" bezeichnete. Die Reaktion der Drahtlos-Beflissenen darauf war verschieden: die etwas theoretisch angehauchten nannten die Unregelmäßigkeit mit Achselzucken „statistische Schwankungen", die experimentell eingestellten, etwas massiveren — dazu gehörte unter anderen auch F. BRAUN — bezeichneten die ganze Angelegenheit einfach als „Dreckzeug". Man war tatsächlich manchmal in Gefahr, zu vergessen, daß *dieser unscheinbare Apparat die drahtlose Telegraphie erst ermöglicht hat.*

Verhältnismäßig früh ist MARCONI durch Versuche RUTHERFORDs auf seinen *„magnetischen Detektor"* gekommen, der manche Ähnlichkeit mit dem POULSENschen Telegraphon, dem Vorgänger des jetzigen Magnetophons, und als Detektor eine mäßige aber regelmäßige Empfindlichkeit hatte.

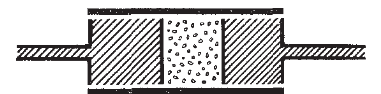


Fig. 16. Schema eines Kohärers.

Von den verschiedensten Seiten wurden *elektrolytische* Detektoren vorgeschlagen, meist derart, daß in einem Elektrolyten die eine Elektrode (z.B. Platin) aus dickem Draht und die anderen aus ganz feinem, von dem auch nur eine kurze Spitze eintauchte, bestand. Eine solche Anordnung hat eine unsymmetrische Stromspannungscharakteristik und kann deshalb als Gleichrichter und damit als Detektor dienen.

Eine solche unsymmetrische Kennlinie besitzen auch eine große Menge von Kombinationen von Metallen gegen Kristalle oder Halbleiter oder auch von verschiedenen Kristallen gegeneinander, ganz besonders aber von Kristallen (z.B. Bleiglanz oder Pyrit) gegen eine Spitze aus Metall. Daß sich mit manchen Kristallen unsymmetrische Kennlinien erzielen lassen, hatte schon F. BRAUN (1891) gezeigt; er hat auch später eindringlich auf die Verwendungsmöglichkeiten solcher Kristalle als Detektoren hingewiesen. In der praktischen Verwendung für Zwecke der drahtlosen Telegraphie sind ihm aber andere, insbesondere G. PICKARD, zuvorgekommen.

Diese Kristalldetektoren haben ein Jahrzehnt lang das Empfängerfeld vollkommen beherrscht; sie bildeten eine Art Geheimwissenschaft, jeder Funker schwor auf „seinen Detektor" und gab ihn niemals anderen auch nur zum Ansehen. Der Kristalldetektor hat der Elektronenröhre schließlich weichen müssen, ist aber bekanntlich bei den Ultrakurzwellen wieder zurückgekehrt.

Da die Kristalldetektoren im Gegensatz zum Kohärer nach dem Aufhören eines Zeichens von selbst wieder für das nächste aufnahmebereit sind, ermöglichen sie eine telephonische Aufnahme, die erst durch sie in allgemeinen Gebrauch kam und bis heute sich gehalten hat.

Die weitere Entwicklung der Detektoren ist tatsächlich ganz andere Wege gegangen. Schon 1904 hatte A. WEHNELT gefunden, daß eine evakuierte Röhre mit 2 Elektroden, von denen die eine kalt, die

andere glühend ist, eine vollkommen unsymmetrische Charakteristik besitzt und als Ventil wirkt. I. A. FLEMING hat dies wohl zuerst 1905 für Empfangszwecke ausgenutzt, sein Detektor, die „FLEMING-Valve" wurde lange Zeit von der MARCONI-Gesellschaft auf ihren Stationen benutzt. Sie war also das, was man später „Diode" oder „Zweipolröhre" nannte.

Bei all diesen Detektoren rührt die Energie, die dem Telephon zugeführt wird, von den ankommenden Wellen her. Aber schon 1906 wurde die LIEBEN-REISS-*Röhre* erfunden, ein *Verstärker*, bei dem die Energie der ankommenden Wellen nur zur Steuerung

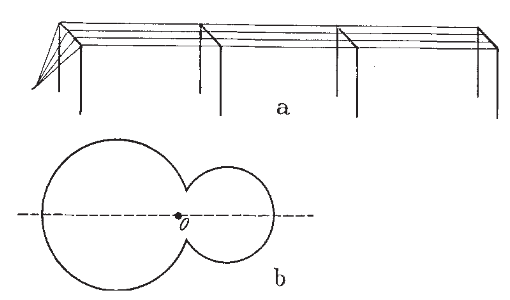


Fig. 17 a u. b. MARCONI-Antenne mit Richtwirkung. a MARCONI-Antenne; b Richtkennlinie.

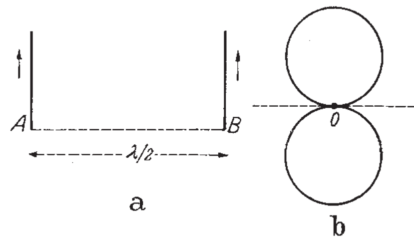


Fig. 18 a u. b. Anordnung mit Richtwirkung aus 2 Antennen. a Schematische Ansicht; b Richtkennlinie.

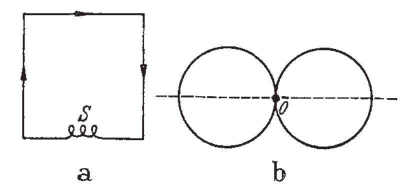


Fig. 19 a u. b. Rahmenantenne und ihre Richtkennlinie. a Rahmenantenne (Ansicht); b Richtkennlinie der Rahmenantenne.

des „Anodenstroms" aus einer lokalen Gleichstromquelle dient. Im selben Jahr hat auch LEE DE FOREST seine Elektronenröhre angemeldet, die später als Verstärker die LIEBEN-REISS-Röhre völlig verdrängte.

IV. Antennen.

1. Ohne Richtwirkung.

Die ersten Antennen waren stets vertikale, direkt oder kapazitiv (durch „Gegengewicht") geerdete Drähte. Die erzeugten Wellenlängen betrugen ungefähr das 4fache der Höhe. Die Stromverteilung auf der Antenne war bei Erdung derselben so, daß ein Strommaximum am Fuß, ein Minimum an der Spitze lag. Bald fand man, daß die Wirkung einer Antenne bei demselben Strom am Fußpunkt nicht nur durch die Höhe der Antenne, sondern auch dadurch sich steigern ließ, daß man mehrere Drähte parallel schaltete — „Reussenantenne" — oder daß man die vertikale Drahtantenne oben mit einer Kapazität aus Drähten (Schirmantenne, Dachantenne) versah. Das hatte zur Folge, daß der Strom an allen Stellen des vertikalen Teils nahezu denselben Effektivwert bekam und daß man allmählich in das Gebiet immer größerer Wellenlängen hineinschlitterte, tatsächlich bis ungefähr 20000 m (Frequenz $1{,}5 \times 10^4$), und damit schon in das Gebiet der TESLAschen Versuche kam. Die Langwellenstation von Nauen bei Berlin hatte eine Art Dachantenne, die eine Fläche von $2{,}5 \times 10^6$ m² bedeckte und von 2 Türmen von 260 und 12 von 210 m Höhe getragen wurde. Ihre Eigenwellenlänge war rd. 5000 m, die Betriebswellenlänge war meist ungefähr das Doppelte (vgl. S. 413).

2. Mit Richtwirkung.

Auf jedem Gebiet der Experimentalphysik gibt es Wunschträume. In der Optik war es die Photographie in natürlichen Farben, in der drahtlosen Telegraphie waren es von Anfang an 2 Wünsche:

1. Selektivität des Empfangs, d. h. ein Empfänger, der nur auf bestimmte Sender, d. h. eine bestimmte Frequenz anspricht. Das ist durch Abstimmittel um so vollkommener erreicht worden, je niedriger man die Dämpfung im Sender und Empfänger halten konnte.

2. Der Sender soll Wellen nur in einer bestimmten Richtung aussenden und entsprechend der Empfänger nur die aus einer bestimmten Richtung ankommenden Wellen aufnehmen. Daß der letztere Fall eine „Funkpeilung", d. h. die Bestimmung der Richtung, in der sich der Sender befindet, bedeutet, darüber war man sich klar. Dabei meinte man mit „Richtung" immer die Richtung *in einer horizontalen Ebene*. Daß es jemals möglich sein würde, eine scheinwerferartige Bündelung der Wellen, wie man sie heute mit Ultrakurzwellen erreicht, herzustellen, davon wagte man nicht einmal zu träumen.

Schon 1899 oder 1900 machte ich in Cuxhaven erfolgreiche Versuche, um mit Hilfe einer zweiten abgestimmten und geerdeten Antenne eine bescheidene Richtwirkung zu erzielen. Die späteren Sendeantennen mit Richtwirkung beruhten meist darauf, daß man den Antennen einen horizontalen oder schiefen Teil und dadurch eine unsymmetrische Richtkennlinie gab. Als Beispiel ist in Fig. 17 eine Antenne von MARCONI und ihre Richtkennlinie wiedergegeben.

Bei einer anderen Gruppe wurde die Richtwirkung durch die Kombination von zwei oder mehreren Antennen mit Strömen verschiedener Phase und eventuell auch verschiedener Amplitude infolge einer Art Interferenz der Felder der verschiedenen Antennen erzielt. Ein besonders einfaches Beispiel ist das von Fig. 18a, zwei Antennen mit gleichphasigen Strömen im Abstand von $\lambda/2$, deren Richtkennlinie verständlicherweise die von Fig. 18b ist.

Als Empfangsantenne mit Richtwirkung hat sich die *Rahmenantenne* (Fig. 19a) mit der Richtkennlinie (Fig. 19b) besonders bewährt. Sie war lange Zeit die normale Empfangsantenne. Daß man mit einer solchen Rahmenantenne die Feldstärke der ankommenden Wellen in absolutem Maßstab messen kann, hat F. BRAUN in Straßburg schon 1906 an den Wellen der Eiffelturmstation nachgewiesen.

Wie die angegebenen Kennlinien zeigen, war die Richtwirkung dieser Antennen sehr mäßig. Die großen Fortschritte, die man später mit der Richtwirkung (Bündelung von Kurzwellen) erzielte, beruhten meist

darauf, daß man eine größere Anzahl von Richtantennen[1]) der oben beschriebenen Art, z.B. derjenigen von Fig. 18, in einer bestimmten Ebene als „Gruppen-Strahler" anordnete.

Auf dem Gebiet der gerichteten Aussendung und des gerichteten Empfangs ist in den Jahren vor 1914 sehr viel gearbeitet worden.

Sehr hübsche Verfahren wurden unter anderem auch schon entwickelt, durch die ein Schiff in bequemer Weise und zwar auch dann, wenn es selbst keinen gerichteten Empfänger besaß, befähigt war, Küstenstationen mit Richtantennen anzupeilen und dadurch seinen eigenen Standort zu bestimmen.

V. Die Ausbreitung der Wellen.

Allen, die die Versuche von HERTZ kannten, mußte klar sein, daß man das Feld einer vertikalen geerdeten Drahtantenne über einer Erdoberfläche, deren Leitvermögen man „der Einfachheit halber" als unendlich groß voraussetzte, richtig bekommt, wenn man die Antenne im Raum annimmt, zu ihrem Feld aber dasjenige ihres Spiegelbildes bezüglich des Erdbodens hinzufügt. Das Ganze bildet dann im wesentlichen einen vertikalen HERTZschen Dipol. Die von der Antenne ausgesandten Wellen mußten dann die Form (Fig. 20) haben, wie sie M. ABRAHAM nach dem Vorgang von HERTZ für die Wellen eines linearen Drahtes berechnet hat, wobei nur die oberhalb der Erdoberfläche befindliche Fläche in Erscheinung tritt.

Die praktischen Folgerungen, die man aus dieser Auffassung zu ziehen hatte, waren die folgenden:

1. Die Ausstrahlung erfolgt wie das Licht geradlinig. Grundsätzlich muß also die größte Entfernung, auf die man mit drahtloser Telegraphie übertragen kann, diejenige der optischen Sehweite (des Horizonts) sein.

2. Unter sonst gleichen Umständen ist die Feldstärke in einer bestimmten Entfernung um so größer, je höher die Frequenz, d.h. je kürzer die Wellenlänge ist.

Unsere Versuche in und um Cuxhaven 1899 bis 1900 ergaben in beiden Beziehungen das Gegenteil. Für die Feldstärke spielte der Horizont (die optische Sehweite) überhaupt keine ausgezeichnete Rolle. Und die Feldstärke wurde unter sonst gleichen Umständen um so größer, je *kleiner* die Frequenz, also je *größer* die Wellenlänge war.

Zweifellos waren unsere damaligen Messungen aus den oben (S. 409f.) angegebenen Gründen mangelhaft, aber qualitativ konnten sie kaum etwas Falsches ergeben, und sie sind ja seitdem tausendfach bestätigt worden. Man mußte sich demnach fragen, ob die oben skizzierte Anschauung auch nur qualitativ richtig ist. Sie gründet sich auf eine Überlegung, die keine Rücksicht darauf nimmt, daß die Welle nicht im freien Raum, sondern an der Oberfläche eines Leiters sich fortpflanzt, der kein unendlich großes Leitvermögen und außerdem noch eine Dielektrizitätskonstante besitzt. Man mußte Zweifel bekommen, ob die Vorstellung einer Strahlung in den Raum überhaupt richtig ist, ob es sich nicht tatsächlich um die Führung der Wellen durch die leitende Erdoberfläche handelt, in gewisser Ähnlichkeit mit der Führung der Wellen durch die Drähte eines LECHERschen Systems.

Ich wollte diese Anschauung rechnerisch prüfen. Um meine mathematischen Kenntnisse nicht zu überspannen, vereinfachte ich das Problem, nahm eine ebene Erdoberfläche und eine ebene Welle an. Außerdem rechnete ich mit den Werten von Leitvermögen und Dielektrizitätskonstanten, wie wir sie durch Messungen in verschiedenen Bodenarten und bei verschiedenen Feuchtigkeiten tatsächlich festgestellt hatten. So untersuchte ich, wie sich die Wellen bei ihrer Ausbreitung längs der Erdoberfläche verhalten. Das Ergebnis war, daß bei dieser Fortleitung längs der Erdoberfläche eine *Absorption* eintritt, die von dem Leitvermögen und der Dielektrizitätskonstante des Bodens

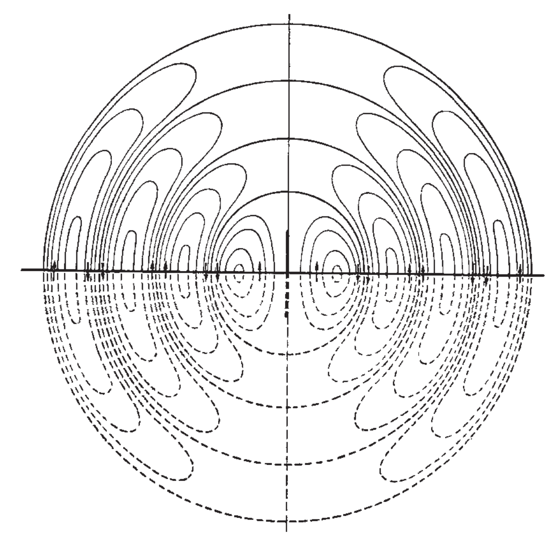


Fig. 20. Elektrisches Feld einer vertikalen geerdeten Linearantenne über Boden mit unendlicher Leitfähigkeit (nach M. ABRAHAM).

abhängt und mit wachsender Frequenz stark zunimmt. Da es bei der drahtlosen Telegraphie nicht darauf ankommt, was der Sender aussendet, sondern darauf, was am Empfänger ankommt, so stimmt dieses Ergebnis durchaus mit den Befunden überein, die die Cuxhavener Versuche geliefert hatten. Daß bei dieser Art der Ausbreitung die Sehweite keine Rolle spielt, ist selbstverständlich.

Natürlich wissen wir heute, daß die Frage der Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie wegen der Ionisierung der Atmosphäre viel komplizierter ist. Es ist aber zu bedenken, daß man damals ganz allgemein, auch bei dem transatlantischen Verkehr, bei dem aber die Wellenlänge entsprechend groß war, im Gebiet dessen arbeitete, was man später die „*Bodenwelle*" nannte. Nur auf diese konnten sich also die Versuche und meine Rechnung beziehen.

Zu behaupten, daß die Wellen der drahtlosen Telegraphie sich nicht wie Licht fortpflanzen, erschien damals beinahe als Blasphemie. „Die Versuche von HERTZ" hatten ja doch die Identität der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen und Licht bewiesen. Daß die Verhältnisse bei seinen Versuchen ganz andere waren als in der drahtlosen Telegraphie, wurde nicht beachtet.

Schon bei den ersten transatlantischen Versuchen beobachtete MARCONI, daß man bei Nacht eine größere

[1]) Vgl. in der Optik Beugungsgitter gegenüber der Beugung durch einfachen Spalt.

Reichweite erzielte als bei Tag. Man mußte daraus schließen, daß noch andere Einflüsse als die Erdoberfläche auf die Ausbreitung der Wellen wirken, ohne daß man wußte, welcher Art diese Wirkung war. Schon bald nach den Marconischen Beobachtungen sprachen Kennelly und Heaviside ihre sehr allgemein gehaltenen Vermutungen einer leitenden Schicht in der Atmosphäre aus. Heute hat sich bekanntlich nach dem Vorgang von E. V. Appleton eine ganze Ionosphärenforschung entwickelt — wir hatten ja in München die „Zentralstelle für Ionosphären-Forschung" und am Herzogstand bei Kochel seit 1930 eine Ionosphären-Station —, die mit den Mitteln der drahtlosen Telegraphie selbst die Eigenschaften der höchsten Schichten der Atmosphäre untersucht und nicht nur darüber, sondern auch über die Eigenschaften der Sonne unsere Kenntnisse erheblich erweitert hat.

Denkt man daran, daß die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie zu Rundfunk und Fernsehen führte, denkt man daran, daß die Elektronenröhre von de Forest auf dem Boden der drahtlosen Telegraphie gewachsen ist, und daß diese Röhre nicht nur das elektrische Nachrichtenwesen, sondern auch die experimentelle Technik auf nahezu allen Gebieten der Forschung völlig umgestaltet hat, so darf man wohl ohne Überheblichkeit sagen, daß das Kind, das die drahtlose Telegraphie vor 50 Jahren war, sich inzwischen recht brauchbar entwickelt hat.

Eingegangen am 15. Dezember 1951.